

Aplicación del Geotermómetro de la Clorita en el Yacimiento Epitermal de Zn-Pb-Ag de Patricia (NE Chile)

/ DARIO CHINCHILLA-BENAVIDES (1, 2), XABIER ARROYO REY (3), LORENA ORTEGA MENOR (1), RUBEN PIÑA GARCIA (1), FERNANDO NIETO GARCIA (4), ROSARIO LUNAR HERNANDEZ (1, 2)

(1) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis, 12, 28040, Madrid (España)

(2) Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid (España)

(3) CAI de Técnicas Geológicas. Universidad Complutense de Madrid C/ José Antonio Nováis, 12, 28040, Madrid (España)

(4) Departamento de Mineralogía y Petrología e Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Universidad de Granada-CSIC, Avenida Fuentenueva, 18002 Granada (España)

INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Patricia representa un ejemplo de mineralización epitermal de metales de base y plata, inusual en la parte norte de la cordillera andina de Chile. El yacimiento forma parte del proyecto minero Paguanta, el cual se sitúa en el extremo norte del Cinturón Oligoceno Andino de Pórfidos de Cobre de Chile. La mineralización de sulfuros se desarrolla en un sistema hidrotermal de vetas orientadas E-O con buzamientos subverticales, encajadas en rocas volcánicas de tipo andesítico de edad Cretácico Superior a Terciario.

Las vetas muestran texturas bandeadas donde se han definido tres etapas de mineralización (Chinchilla et al, 2013 y 2014): la etapa (1) con cuarzo, pirita y arsenopirita, la etapa (2) de mineralización principal, con esfalerita (6 a 15 mol.% FeS), galena y cantidades menores de fases de plata, calcopirita y pirrotina y la etapa (3) con cuarzo tardío, kutnohorita y cantidades menores de sulfuros. La alteración hidrotermal que presenta la roca de caja es de tipo clorítico y sericítico. Además se observa precipitación de clorita en el interior de las vetas mineralizadas (Fig. 1). Las relaciones espaciales con cuarzo y esfalerita sugieren que esta clorita se forma a finales de la primera etapa y/o durante la segunda etapa.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La temperatura en los sistemas hidrotermales es un parámetro esencial para poder entender y clasificar los fluidos que dieron lugar a la formación de las mineralizaciones. El objetivo de este estudio es calcular la temperatura de formación de las cloritas que acompañan a los sulfuros en las vetas mineralizadas y compararla con los

datos de inclusiones fluidas (Chinchilla et al, 2014). Para ello se ha utilizado el geotermómetro de la clorita ya que la variación en la composición química de las cloritas proporciona información sobre las condiciones fisicoquímicas de su formación (Vázquez et al, 2014). En concreto se ha aplicado tanto el geotermómetro de Bourdelle (Bourdelle et al, 2013) como el de Lanari (Lanari et al, 2014) ambos basados en criterios termodinámicos. Desde este punto en adelante nos referiremos a ambos métodos como el geotermómetro de Bourdelle y el de Lanari. El estudio y análisis de las cloritas ha sido llevado a

cabo en el CAI de Técnicas Geológicas y en el Centro Nacional de Microscopía Electrónica, ambos en la Universidad Complutense de Madrid.

Se han elegido 32 muestras representativas de diferentes sondeos para ser estudiadas mediante difracción de rayos X (XRD), tanto en polvo desorientado como en agregados orientados. Aquellas con una composición mineralógica adecuada y de naturaleza más pura han sido analizadas posteriormente con microscopio electrónico de barrido (SEM) y con microsonda electrónica

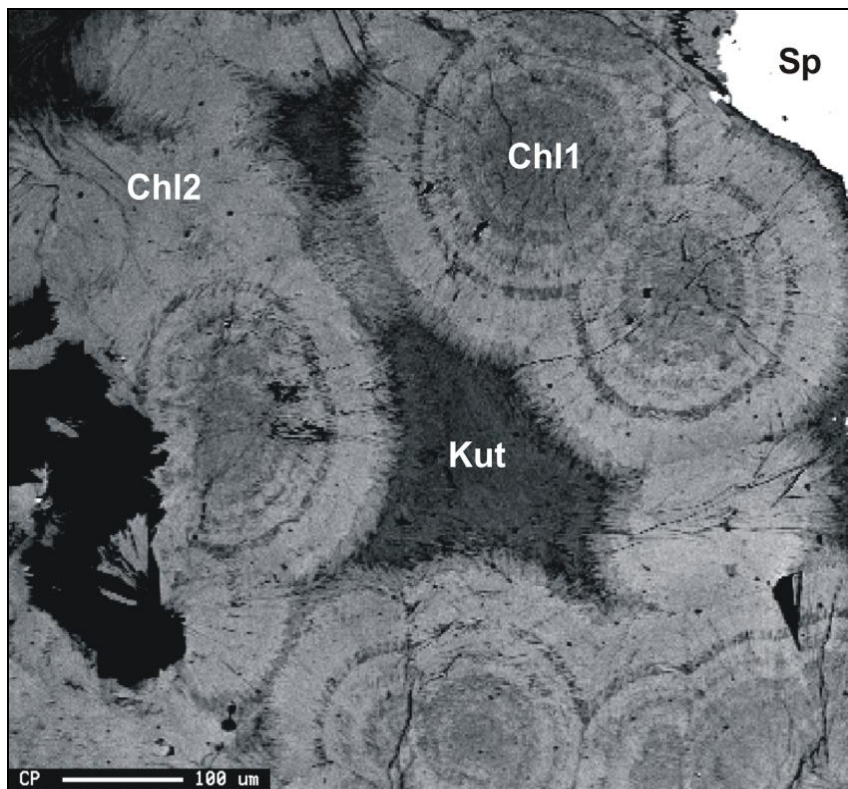


fig 1. Micrografía de electrones retrodispersados en la que se observan las zonaciones que presentan algunas cloritas en diversas vetas mineralizadas asociadas a los metales de base (esfalerita y galena). Chl1: clorita zonada, Chl2: clorita masiva, Sp: esfalerita, Kut: Kutnohorita.

palabras clave: Geotermómetro, Clorita, Epitermal, Chile.

key words: Geothermometer, Chlorite, Epithermal, Chile.

(EPMA). La aplicación de los geotermómetros de Bourdelle y de Lanari debe cumplir unos requisitos mineralógicos y termodinámicos mínimos:

- Presencia de cuarzo en las vetas asociado a la clorita.
- $\Sigma \text{Na}+\text{K}+\text{Ca} \leq 0.12$ (apfu) que garantiza la ausencia de fases interestratificadas u otras fases contaminantes.
- Σ octaédrico de clorita sea ~ 6 (apfu).
- Geotermómetro de Bourdelle: válido para temperaturas $< 350^\circ\text{C}$ y presiones $< 4\text{Kbar}$.
- Considerar un error para ambos métodos geotermométricos de $\pm 50^\circ\text{C}$.

RESULTADOS

Las cloritas estudiadas son ricas en Fe y sus difractogramas se caracterizan por una reflexión (002) más intensa que la (001). Por otro lado, se ha descartado mediante solvatación con etilenglicol la existencia de fases discretas expansivas (esmeclitas y/o vermiculitas) así como la de interestratificados (I/S y C/S). Las cloritas aparecen formando zonados concéntricos (Chl1) y agregados masivos (Chl2) (Fig. 1). Los análisis químicos realizados mediante SEM y EPMA indican cloritas de tipo chamosítico (hasta un 40 % en peso de Fe) (Tabla 1). Las fórmulas estructurales calculadas han permitido aplicar tanto el geotermómetro de Bourdelle como el de Lanari. Para aplicar el geotermómetro de Lanari se ha estimado un valor de presión máxima de 0.1kbars. Además en ambos métodos se trabaja asumiendo todo el

Fe obtenido como Fe^{2+} . Los resultados muestran temperaturas de formación entre $350\text{--}150^\circ\text{C}$. Generalmente los valores obtenidos con la aplicación del geotermómetro de Lanari son de media 15°C más bajos que los obtenidos con el geotermómetro de Bourdelle (Tabla 1), con diferencias mínimas de 2°C y máximas de 46°C .

La clorita Chl1 muestra un máximo modal entre $300\text{--}250^\circ\text{C}$, si bien las bandas de diferente composición indican variaciones en la temperatura de los fluidos durante el crecimiento. Generalmente se observa un gradiente positivo de núcleo a borde (aumento de Fe y disminución de Mg) aunque también se han registrado gradientes negativos. La clorita Chl2 muestra valores modales en el intervalo $300\text{--}150^\circ\text{C}$.

DISCUSIÓN

Los cambios composicionales que presentan las cloritas analizadas indican temperaturas de precipitación preferente entre $300\text{--}200^\circ\text{C}$. Por su parte, los datos de inclusiones fluidas en cuarzo de grano grueso del estadio 1 y en esfalerita del estadio 2 indican temperaturas de circulación de fluidos entre $240\text{--}200^\circ\text{C}$ y $250\text{--}140^\circ\text{C}$ respectivamente (Chinchilla et al, 2014). No se dispone de datos de los fluidos iniciales del estadio 1 debido al carácter microcristalino del cuarzo más temprano, previo al cuarzo de grano grueso.

Los rangos de temperatura estimados a partir del geotermómetro de clorita de Bourdelle y de Lanari, teniendo en cuenta el error del método, son

coherentes con los datos que aportan las inclusiones fluidas para el momento de precipitación de la clorita dentro de la secuencia paragenética. Por otra parte, el estudio de inclusiones fluidas sugiere la existencia de procesos de mezcla de fluidos entre los estadios 1 y 2. Esto podría explicar las variaciones composicionales y de temperatura observadas en los agregados de clorita Chl1.

Se puede concluir que mediante el estudio geotermométrico de las cloritas se ha obtenido un amplio rango de temperaturas, con la mayoría de los valores entre $300\text{--}200^\circ\text{C}$. El ambiente hidrotermal en el que se ha formado el yacimiento de Patricia presenta patrones complejos de evolución, con mezcla de fluidos acuosos de distinto origen y naturaleza (Chinchilla et al, 2014). Por lo tanto, la amplia dispersión de temperaturas obtenida en este estudio refleja el crecimiento de clorita asociado a la precipitación de sulfuros de Zn-Pb en un sistema hidrotermal dinámico.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio está financiado por el proyecto CGL-2010-17668 del Ministerio de Economía y Competitividad.

REFERENCIAS

- Bourdelle F., Parra T., Chopin C., Beyssac O. (2013): A new chlorite geothermometer for diagenetic to low-grade metamorphic conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **165**, 723-735.
- Chinchilla D., Rodríguez Pinzón A., Piña R., Ortega L., Lunar R., Quesada C., Valverde A. (2013): A mineralogical and fluid inclusion study of the Patricia Zn-Pb-Ag Deposit (Paguanta, NE Chile). 12th SGA biennial meeting – Uppsala, Suecia.
- Chinchilla D., Ortega L., Piña R., Merinero R., Lunar R., (2014): Características de los fluidos hidrotermales en el depósito de Zn-Pb-Ag de Patricia (Región de Tarapacá, NE de Chile). *Macla* 19 (en prensa).
- Lanari, P., Wagner, T., Vidal, O. (2014): A thermodynamic model for di-trioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$: applications to P-T sections and geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **167**, 1-19.
- Vázquez, M., Nieto, F., Morata, D., Droguett, B., Carrillo-Rosua, F. J., Morales, S. (2014): Evolution of clay mineral assemblages in the Tinguiririca geothermal field, Andean Cordillera of central Chile: an XRD and HRTEM-AEM study. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **282**, 43-59.

Elemento	Chl1	Chl1	Chl1	Chl2	Chl2	Chl2	Chl2	Chl2
Si	2.70	2.68	2.63	2.72	2.66	2.77	2.88	2.81
Fe++	3.49	3.25	3.91	3.18	2.64	3.84	3.38	2.66
Al VI	1.51	1.48	1.52	1.50	1.52	1.52	1.55	1.70
Al IV	1.30	1.32	1.37	1.28	1.34	1.23	1.12	1.19
Mn	0.42	0.50	0.19	0.46	0.69	0.22	0.33	0.52
Mg	0.47	0.67	0.29	0.71	1.04	0.25	0.48	0.80
Ti	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Na+K+Ca	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-	-	-
Sitio T	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Sitio O	5.89	5.91	5.93	5.89	5.93	5.85	5.75	5.69
T°C Bourdelle	278	318	346	266	309	234	176	173
T°C Lanari	268	303	335	256	300	217	151	160

Tabla 1. Composición química en elementos en base a 14 O de cloritas representativas (Chl1 y Chl2) asociadas a los sulfuros de metales de base en el yacimiento de Patricia.